

Merenje parametara radio-navigacionih sistema VOR i ILS

1. Miša Markuš
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
markus.misa@gmail.com
0009-0006-0163-4330

2. Neda Spasojević
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
nedamilivojcevic@yahoo.com
0000-0001-8051-982X

3. Aleksandar Atanacković
Sektor za metrologiju
Tehnički opitni centar
Beograd, Srbija
salelovac1@gmail.com
0009-0005-3364-7964

Abstract—U radu je opisan osnovni princip rada radio-navigacionih sistema VOR i ILS. Dat je prikaz merne opreme koja se u Tehničkom opitnom centru koristi za pregled VOR i ILS prijemnika u vazduhoplovima. Razmatrana je mogućnost etaloniranja ove merne opreme u metrološkoj laboratoriji Tehničkog opitnog centra.

Cljučne reči—etaloniranje, ILS, merenje, navigacija, VOR

I. UVOD

VOR (*Very high frequency Omni-directional Range*) je vrsta radio-navigacionog sistema kratkog dometa koji omogućuje letelici, koja poseduje odgovarajući prijemnik, da odredi svoju poziciju i ostane na kursu zahvaljujući prijemu radio signala koje emituje mreža fiksnih zemaljskih stanica. Koristi frekvencije iz VHF opsega (*Very High Frequency*) od 108 MHz do 117,95 MHz. Sistem je razvijen u Sjedinjenim Američkim Državama 1937. godine i ubrzo je postao standard za avio-navigaciju u čitavom svetu [1]. Korišćen je od strane, kako komercijalne, tako i generalne avijacije sve dok početkom 21. veka nije postepeno potisnut i zamenjen satelitskim navigacionim sistemima, poput GPS-a (*Global Positioning System*).

ILS (*Instrument Landing System*) je zemaljski navigacioni sistem koji obezbeđuje precizno vođenje vazduhoplova koji prilaze poletno-sletnoj stazi, uz kombinovani rad nekoliko uređaja koji emituju radio talase, i odgovarajuće opreme u vazduhoplovima, a koji omogućava sletanje pri uslovima smanjene vidljivosti, usled oblačnosti, magle, kiše, snega i slično. U izvornom obliku, ILS dozvoljava letelici da se približi do visine od 62 m iznad zemlje i na rastojanja do 800 m od piste. U toj tački pista bi trebala da bude vidljiva pilotu. Dovođenje vazduhoplova toliko blizu poletno-sletne piste, u značajnoj meri smanjuje uticaj vremenskih prilika na bezbedno sletanje. Kasnije nadogradnje sistema su dodatno smanjile ova minimalna rastojanja.

ILS i VOR oprema podleže međunarodnim standardima čiji je cilj da svi VOR/ILS predajnici budu kompatibilni sa svim VOR/ILS prijemnicima [2][3]. Osnovni standardi kojima je regulisana ova oblast, definisani su od strane ICAO (*International Civil Aviation Organisation*) :

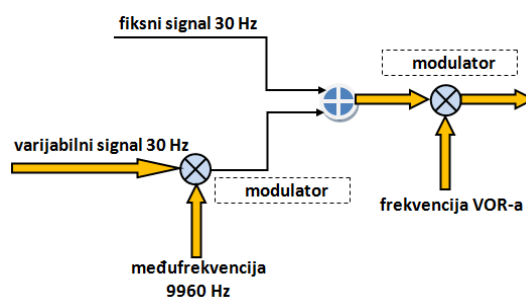
- Aneks 10 Čikaške konvencije, Vazduhoplovne komunikacije, deo I, Radio-navigacioni uređaji.
- ICAO dokument 8071, Uputstvo za testiranje radio-navigacionih uređaja.

II. PRINCIP RADA

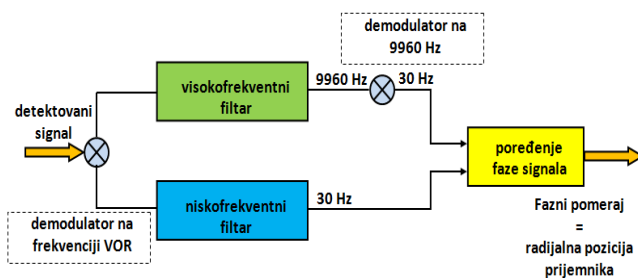
A. VOR

VOR zemaljska stanica koristi specijalizovani antenski sistem kako bi prenosila istovremeno i amplitudski i frekvencijski modulirani signal. Obe modulacije su izvedene signalom od 30 Hz, ali su im faze različite. Faza jednog modulacionog signala zavisi od pravca prenosa, dok kod drugog modulacionog signala takva zavisnost ne postoji kako bi taj signal služio kao referenca. Blok šema VOR predajnika data je na Sl. 1. Prijemnik vrši demodulaciju oba signala i meri faznu razliku (Sl. 2). Fazna razlika ukazuje na kom ugao prema magnetnom severu. Dakle, meri se ugao koji čine poluprava koja vodi od VOR stanice prema magnetnom severu i poluprava koja vodi od VOR stanice prema vazduhoplovu. Ovaj ugao poznat je pod nazivom radijal. Tako se, na primer, ugao od 60° naziva 60. radijalom i kaže se da je vazduhoplov na 60. radijalu od VOR-a.

Dakle, stanica VOR-a sa jednog mesta emituje složeni elektromagnetni signal koji se sastoji od nekoliko komponenti. Osnovna dva signala su fiksni (referentni) signal i promenljivi (varijabilni) signal. Fiksni signal je u osnovi signal frekvencije 30 Hz koji se emituje podjednako u svim pravcima. Promenljivi signal je takođe signal frekvencije 30 Hz koji se različito emituje u različitim radijalnim pravcima. Na svakom radijalu signal je fazno pomeren za ugao tog radijala. Kada prijemnik primi ova dva signala može da ih poredi i da detektuje fazni pomeraj. Fazni pomeraj otkriva na kom radijalu se nalazi prijemnik. Kako bi se ova dva signala mogla odvojeno detektovati, jedan od ova dva signala frekvencijski moduliše nosilac međufrekvencije 9,96 kHz (*subcarrier*). Preostali signal od 30 Hz se dodaje na *subcarrier*. Rezultujućim signalom se zatim moduliše nosilac određene više frekvencije, koji je, u stvari, radna frekvencija VOR-a (opseg 108 MHz do 117,95 MHz). VOR signal, pored osnovne dve komponente, sadrži i identifikacioni signal VOR



Sl. 1. VOR predajnik – blok šema



Sl. 2. VOR prijemnik – blok šema

stanice (kodiran morzeovim kodom) kojim se ona predstavlja prijemnicima. Prenosi se na frekvenciji 1020 Hz kao amplitudski modulisan signal. Neki VOR sistemi imaju i automatsku glasovnu identifikaciju, kojom se objavljuje ime VOR stanice.

Kod konvencionalnog VOR sistema (CVOR) fiksni signal se koristi za frekvencijsku modulaciju nosioca međufrekvencije (9,96 kHz), dok se varijabilni signal koristi za amplitudsku modulaciju. Fazni pomeraj varijabilnog signala postiže se specijalnim oblikom polja antene koja emituje ovaj signal. Amplitudska modulacija postiže se rotiranjem direkcione antene u fazi sa referentnim signalom 30 Hz (30 obrtaja u sekundi). Moderniji VOR sistemi su zasnovani na Doplerovom efektu (*Doppler VOR – DVOR*). Oni koriste cirkularni niz antena, pri čemu u svakom trenutku samo jedna od njih emituje signal, pa to stvara efekat kružeće antene, koja se približava odnosno udaljava od prijemnika, što za posledicu ima frekvencijsku modulaciju. Amplitudska modulacija postiže se nejednakim snagama zračenja antena u pojedinim tačkama (npr. na severnoj poziciji je manja snaga nego na južnoj). CVOR ima manju antenu, ali je osetljiviji na ometanja ili odbijanja zračenja u okolini, odnosno potrebna mu je široka čista oblast za ispravan rad. Antena DVOR-a je veća, ali manje osetljiva na prepreke i ometanja u okolini. U vazduhoplovima senzor VOR-a (VOR prijemnik) jednako procesira signale koji potiču od obe vrste sistema. VOR prijemnik u vazduhoplovu (Sl. 3) ima:

- Prsten sa kružnom skalom, koja se ručno podešava na radijal po kome pilot želi da se kreće
- Iglu, koja pokazuje odklon od željenog radijala
- Strelicu, koja pokazuje da li se vazduhoplov na željenom radijalu kreće od VOR-a ili prema VOR-u

Pilot podešava kružnu skalu tako da gornja pozicija pokazuje željeni radijal po kome vazduhoplov treba da se kreće. Instrument meri radijal na kome se vazduhoplov zaista nalazi i razlika između željenog i izmerenog radijala se pokazuje kao



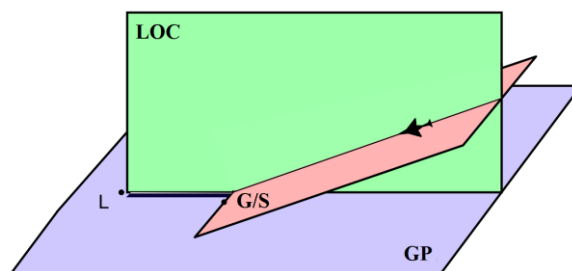
Sl. 3. VOR indikator u vazduhoplovu

odklon igle. Iгла je fiksirana na gornjem delu pokazivača instrumenta i pri odklonu pokazuje na neku od crtica u sredini pokazivača, a svaka crtica ukazuje na odklon od željenog radijala od oko 2 ugaona stepena. Ovakva konstrukcija pruža pilotu vizuelni prikaz pozicije vazduhoplova (centralna tačka na pokazivaču) i željenog pravca kretanja pri čemu lako može da zaključi kako da se vrati na željeni pravac. Strelica na desnoj strani pokazivača pokazuje da li vazduhoplov na datom radijalu leti prema VOR-u ili od VOR-a. Vazduhoplov je obično opremljen sa dva VOR prijemnika. Jedan služi kao rezerva u slučaju da dođe do otkaza. Takođe, jedan od njih može da meri poziciju u odnosu na VOR prema kojem se vazduhoplov kreće, a drugi da naznači pilotu kada je vazduhoplov prešao izvesni radijal u odnosu na neki drugi VOR.

VOR se često locira sa DME (*Distance Measuring Equipment*) uređajem, koji omogućava vazduhoplovu da odredi linernu udaljenost od VOR stanice. Na osnovu te udaljenosti i visine vazduhoplova, korišćenjem Pitagorine teoreme, može se izračunati projekcija udaljenosti vazduhoplova u horizontalnoj ravni. Takva kombinacija uređaja zove se VOR/DME.

B. ILS

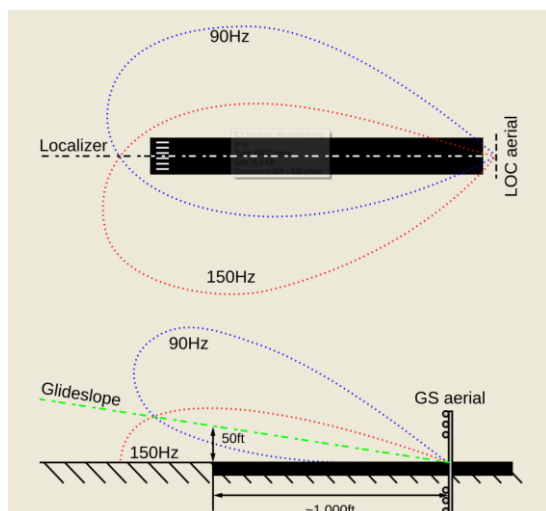
ILS koristi dva direkciona radio signala: *localizer* (108 MHz do 112 MHz) koji obezbeđuje horizontalno navođenje i *glideslope* (328,6 MHz do 335,4 MHz) za vertikalno navođenje. Veza između položaja vazduhoplova i ovih signala je prikazana na instrumentaciji u vazduhoplovu, najčešće kao dodatni pokazivač na indikatoru visine. Opciono se mogu koristiti i radio markeri (*marker beacon*), koji obezbeđuju informaciju o udaljenosti vazduhoplova od poletno-sletne staze. Može se reći da se ILS sastoji od dva pod sistema koji emituju navedene radio signale: prvi pod sistem (*localizer-LOC*) koji u prostoru obeležava središnju ravan, koja sadrži centralnu liniju poletno sletne staze i drugi pod sistem (*glideslope-G/S*) ili indikator ravni poniranja, obeležava ravan poniranja prilikom sletanja vazduhoplova (Sl. 4). LOC je uređaj koji emituje polje radio-signala moduliranih pretežno sa 150 Hz sa desne strane poletno-sletne staze, odnosno sa 90 Hz sa leve strane poletno-sletne staze (Sl. 5), gledano od pravca sletanja. Prijemnik LOC signala meri razliku u dubini modulacije DDM (*Difference in Depth of Modulation*) ova dva signala. Na središnjoj ravni vrednost DDM je tačno nula i raste sa obe strane od središnje ravni. LOC emituje signale uz pomoć skupa antena koje su pozicionirane na kraju poletno-sletne staze. Nosača frekvencija je jedna od predodređenih frekvencija iz opsega 108 MHz do 112 MHz. Signal modulisan sa 150 Hz i signal modulisan 90 Hz imaju dubinu modulacije od oko 20%. Mešanjem dva modulišuća signala sa nosiocem rezultuje signalom od ukupno



SL. 4. Ravni ILS sistema

pet radio frekvencija (nosilac i 4 bočna opsega). Ovaj kombinovani signal, poznat pod nazivom CBS (*Carrier and SideBands*), šalje se sa antenskog niza. CBS signal se takođe prosleđuje u kolo koje potiskuje nosilac ostavljajući samo bočne opsege. Ovakav signal naziva se SBO (*SideBands Only*) i takođe se šalje preko antenskog niza [4]. Antenski niz LOC sistema uobičajeno se postavlja na samom kraju poletno-sletne piste i sastoji se iz više antena širine koja odgovara širini same piste. Svaka pojedinačna antena poseduje pomerač faze koji se primenjuje samo na SBO signal, na taj način da se fazno pomera za -90° na levoj strani piste, odnosno $+90^\circ$ na desnoj strani. Dodatno se signal frekvencije 150 Hz invertuje na jednoj strani za 180° . Način na koji se ovi signali mešaju, ima za posledicu da se na središnjoj ravni SBO signali u potpunosti ponište, ostavljajući samo CBS signal. Na drugim pozicijama SBO signali se nikada neće u potpunosti potirati. Prijemnik će primiti oba ova signala, pomešana. Korišćenjem jednostavnih elektronskih filtera, originalni noseći signal i dva bočna opsega mogu da se razdvoje i demodulišu kako bi se dobili originalni modulišući signali 90 Hz i 150 Hz. Ovi signali se zatim usrednjavaju kako bi proizveli dva signala jednosmerne struje. Svaki od ovih signala ne predstavlja snagu originalnog signala, već snagu modulacije relativno u odnosu na nosilac, koja se menja u zavisnosti od šablona zračenja odnosno emitovanja signala. Dva DC signala se zatim šalju na voltmetar, pri čemu signal 90 Hz iglu skreće u desno, dok signal od 150 Hz iglu skreće u levo. Na centralnoj liniji, bočni opsezi se poništavaju, a vrednost oba napona je nula, i kazaljka je u centralnom delu ekrana. Ukoliko je vazduhoplov skroz na levoj strani, signal 90 Hz izazvaće visok DC napon a signal 150 Hz neće proizvesti nikakav napon, što pokreće iglu skroz u desno. To znači da ekran voltmetra direktno prikazuje i smer i magnitudu obrta potrebnog da bi se vazduhoplov doveo do centralne linije piste. Sektor localizer-a je ugao oko središnje ravni u kojoj DDM raste linearno sa ugaonim odklonom od središnje ravni i iznosi približno 6° . U ovom sektoru signal se koristi za najprecizniju navigaciju. Na uglu odklona od 6° do 35° LOC signal može se koristiti za određivanje strane na koju treba skrenuti da bi se sletelo, ali tu vrednost DDM-a nije proporcionalna ugaonom odklonu i pokazivanje je grubo.

Indikator ravni poniranja (*glideslope*) emituje signal pomoću skupa antena pozicioniranih sa strane poletno-letne



Sl. 5. ILS: Localizer i Glideslope

staze, u nivou početka te staze. Radi po istom principu kao i localizer, ali se signal emituje tako da proizvodi centralnu (središnju) ravan pod uglom od 3° u odnosu na horizont, gledano sa strane piste (Sl. 5). Noseća frekvencija signala je jedna od predodređenih frekvencija iz UHF (*Ultra High Frequency*) opsega 328,6 MHz do 335,4 MHz. Noseće frekvencije LOC i G/S su uparene u unapred određene parove, tako da se instrument u vazduhoplovu podesi u jednom koraku, odnosno nije potrebno posebno podešavanje za frekvenciju LOC-a a posebno za frekvenciju G/S-a. Signal modulisan sa 150 Hz i signal modulisan sa 90 Hz imaju dubinu modulacije od oko 40%. U oblasti ugaonog odklona $\pm 0,36^\circ$ od ravni poniranja, DDM linearno raste sa uglom odklona i to je oblast u kojoj je moguća vrlo precizna navigacija. ILS prijemnik u vazduhoplovu istovremeno meri razliku u dubini modulacije kod LOC i kod G/S signala, prikazuje ih na instrumentu i omogućava pilotu da lako i brzo odredi u kom smeru, horizontalno i vertikalno, treba da usmeri vazduhoplov da bi bio što približnije idealnoj trajektoriji za sletanje.

ILS pruža navigacione signale koji omogućuju sletanje vazduhoplova u uslovima smanjene vidljivosti. Međutim nisu svi ILS sistemi podjednako precizni, niti predviđeni za iste uslove rada. Zato je definisano nekoliko kategorija smanjene vidljivosti:

- Kategorija 1 (CAT I) – instrumentalni prilaz i sletanje gde visina odluke nije manja od 60 m i pri kojima vidljivost nije manja od 800 m, odnosno vidljivost na poletno-sletnoj stazi nije manja od 550 m.
- Kategorija 2 (CAT II) – instrumentalni prilaz i sletanje gde je visina odluke manja od 60 m a veća od 30 m i pri kojima vidljivost na poletno-sletnoj stazi nije manja od 350 m.
- Kategorija 3 (CAT III) – instrumentalni prilaz i sletanje gde je visina odluke manja od 30 m i pri kojima vidljivost na poletno-sletnoj stazi manja od 350 m.

Radio markeri (*marker beacon*) su pozicionirani u pravcu sletanja, na poletno-sletnu stazu, tako da tokom sletanja pilotima daju informaciju o tome koliko su se približili pragu poletno-sletne staze. Oni imaju unapred određene frekvencije i svetlosni indikatori u vazduhoplovu pokazuju kada je vazduhoplov prošao poziciju nekog markera.

III. PROVERA VOR I ILS PRIJEMNIKA U TEHNIČKOM OPITNOM CENTRU

U sklopu ispitivanja vazduhoplova i vazduhoplovnih sredstava u Tehničkom opitnom centru, što predstavlja jednu od osnovnih delatnosti ove vojne naučno-istraživačke ustanove, sprovode se i ispitivanja navigacionih sistema, u koje spadaju VOR i ILS. U tu svrhu koristi se komunikacioni set IFR 4000 proizvođača Viavi Solutions (Sl. 6) sa sedištem u Sjedinjenim Američkim Državama. IFR 4000 je set namenjen za testiranje navigacionih sistema VOR, ILS, radio markera kao i HF/VHF/UHF komunikacionih sistema. U pitanju je prenosno merilo, jednostavno za upotrebu, ergonomskog oblika koje, između ostalog, ima sledeće mogućnosti:

- Simulacija Localizer i Glideslope signala sa mogućnošću podešavanja DDM



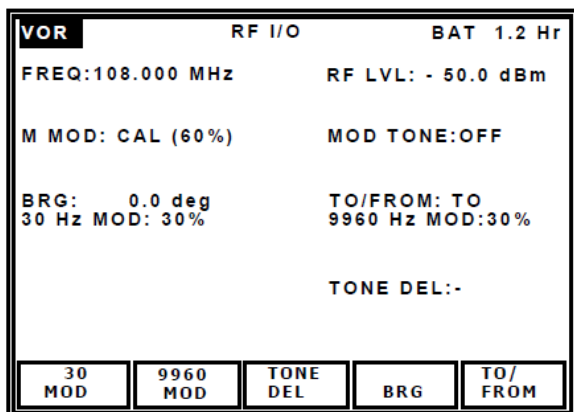
Sl. 6. ILS: Komunikacioni set IFR 4000 Viavi Solutions

- Simulacija VOR signala
- Precizno merenje VHF/UHF frekvencije i snage predajnika, kao i analognih modulacija AM i FM

VOR režim rada (Sl. 7) koristi se za testiranje VOR prijmnika u vazduhoplovima, bilo preko direktne veze na ulazno-izlaznom RF portu, bilo preko antenskog konektora. U VOR modu rada generiše se signal iz VOR opsega (108 MHz do 117,95 MHz) sa referentnim signalom 30 Hz i nosiocem međufrekvencije (*subcarrier*) 9,96 kHz koji je frekvencijski modulisan varijabilnim signalom 30 Hz. Fazni pomeraj između fiksno i varijabilnog signala može se podešavati u predefinisanim koracima od 30° ili u promenljivim koracima od 0,1°. Moguće je podešavati modulaciju varijabilnog signala od 30 Hz kao i modulaciju nosioca međufrekvencije u rasponu od 0% do 30% sa korakom 1%. VOR se tipično proverava pri nivou -67 dBm i u koracima od 30°, za tačnost koja iznosi $\pm 4^\circ$. Komunikacioni set IFR 4000 u ovom režimu rada, takođe, omogućava određivanje osetljivosti prijmnika preko odnosa signal/šum. Ovo merenje se izvodi pri nivou signala od -101 dBm [5].

Za proveru ILS sistema, na uređaju postoje tri različita moda rada:

- Localizer mod koji je namenjen testiranju LOC prijmnika u vazduhoplovima.



Sl. 7. Izgled ekrana na IFR4000 u VOR režimu rada

- Glideslope mode je namenjen proveru G/S prijmnika
- ILS režim rada koristi za proveru ILS prijmnika u vazduhoplovima u uslovima auto-pilota

Sva tri režima rada obezbeđuju komunikaciju bilo preko direktne veze na ulazno-izlaznom RF portu, bilo preko antenskog konektora. U ILS režimu rada frekvencije LOC i G/S podsistema mogu se podešavati, pri čemu treba imati u vidu da su ove frekvencije međusobno uparene. Izbor jedne frekvencije, automatski povlači i određuje vrednost druge frekvencije. Za svaki od podsistema moguće je izabrati razliku u dubini modulacije (DDM) na središnjoj ravni, sa leve i desne strane. Za DDM se mogu izabrati predefinisane vrednosti, ili se mogu podešavati u opsegu od 0 do 0,4 sa korakom 0,001. Postoji mogućnost podešavanja i faznog pomeraja između signala 90 Hz i 150 Hz.

U Localizer modu rada, može se izvršiti provera osetljivosti LOC prijmnika, zadavanjem signala nivoa -101 dBm pri direktnoj vezi RF porta i samog prijmnika. Takođe, ovaj režim rada pruža mogućnost centriranja localizer-a. Postupak centriranja podrazumeva da se razlika u dubini modulacije (parametar DDM) najpre podesi na vrednost 0, nakon čega se proverava da li je indikator kursa centriran. Provera se vrši za različite vrednosti nivoa signala (u opsegu od -87 dBm do -17 dBm). Nakon toga postavlja se fazni pomeraj između signala 90 Hz i 150 Hz, i posmatra se da li je indikator i dalje centriran. Još jedna provera koja se može izvršiti u ovom modu jeste test DDM. Testiranje DDM izvodi se zadavanjem različitih vrednosti DDM (standardna devijacija, pri kojoj je vrednost DDM 0,093 i devijacija pune skale kojoj odgovara vrednost DDM od 0,155) pri čemu se prati pokazivanje odgovarajućeg indikatora u vazduhoplovu. Po istom principu vrši se provera G/S prijmnika u Glideslope režimu rada.

Jedan od izazova sa kojim su se korisnici komunikacionog seta IFR 4000 suočili jeste obezbeđivanje odgovarajuće metrološke sledivosti, odnosno potreba za njegovim redovnim etaloniranjem. Etaloniranje ovog višefunkcijskog uređaja trenutno je moguće izvršiti isključivo u inostranim metrološkim laboratorijama, budući da metrološke laboratorije u Republici Srbiji ne raspolažu odgovarajućim tehničkim mogućnostima za pregled ovih merila. To predstavlja veliki problem prevashodno zbog toga što je vremenski zahtevno. Celokupan postupak obično traje od 2 do 3 meseca, tokom kojeg je merilo nedostupno i samim tim nije moguće vršiti bilo kakva ispitivanja. Drugi aspekt predstavlja finansijsku stranu, budući da je etaloniranje u akreditovanim laboratorijama u inostranstvu skupo i zahteva planiranje i obezbeđivanje značajnih finansijskih sredstava. Ne treba zaboraviti ni rizik koji je prisutan pri svakom dužem transportu mernog sredstva, a to je mogućnost mehaničkog oštećenja koje može dovesti do funkcionalne ili metrološke neispravnosti samog merila. Zbog svega navedenog, razmatrana je mogućnost da se, uz nabavku adekvatne opreme, etaloniranje ovog merila u budućnosti, sprovodi u metrološkoj laboratoriji ML 02 u sklopu Tehničkog opitnog centra. Laboratorija ML 02 namenjena je za etaloniranje merila iz oblasti mikrotalasne snage, slabljenja, impedanse, vremena i frekvencije ali i analognih modulacija i već raspolaže značajnom etalonskom bazom koja pokriva svaku od ovih oblasti. Princip rada IFR 4000 komunikacionog seta, kao što je ranije već objašnjeno, sastoji se u generisanju

odgovarajućih signala, kojima se proveravaju VOR i ILS prijemnici u vazduhoplovima. Ovi signali predstavljaju kombinaciju amplitudski i frekvencijski moduliranih signala, i da bi se u potpunosti izvršila njihova karakterizacija (a samim tim i etaloniranje merila) neophodna je sledeća merna oprema:

- Frekvencmetar (brojač), za proveru tačnosti generisanja frekvencije
- Merilo snage sa odgovarajućim senzorom, za proveru tačnosti generisanja nivoa signala
- Analizator frekvencijskog spektra za proveru harmonijskih izobličenja generisanih signala
- Analizator mreže za proveru refleksije na portovima.
- Merilo modulacija ili merni prijemnik, za proveru specifičnih parametara generisanih VOR i ILS signala kao što su dubina modulacije, izobličenje, fazni pomeraj i slično

Merni prijemnik (merilo modulacija), odnosno demodulator VOR i ILS signala, jeste karika koja nedostaje da bi se kompletno etaloniranje IFR 4000 obavilo u metrološkoj laboratoriji Tehničkog opitnog centra. Postojeći kapaciteti metrološke laboratorije ML 02 podrazumevaju merenje analognih modulacija (AM, FM Φ M) korišćenjem mernog prijemnika proizvođača Rohde & Schwarz tip FSMR26. Ovaj merni prijemnik predstavlja multifunkcionalno merilo, koje pored parametara analognih modulacija (dubina modulacije, devijacija frekvencije, devijacija faze) i njihovih izobličenja, može meriti i nivoe signala (u paru sa senzorom snage NRP-Z37), slabljenje i parametre audio signala. Istraživanjem tržišta došlo se do zaključka, da je upravo nadogradnja pomenutog mernog prijemnika najefikasniji način na koji se može izvršiti proširenje mernih mogućnosti i omogućiti etaloniranje VOR/ILS komunikacionog seta. Naime, proizvođač Rohde & Schwarz za merni prijemnik FSMR26 nudi mogućnost softverske nadogradnje. U pitanju je opcija FS-K15 VOR/ILS demodulator [6], koja omogućava precizno etaloniranje VOR/ILS generatora. Dakle, u samom sklopu FSMR26 već postoji odgovarajući hardver (demodulator) neophodan za merenje VOR/ILS parametara, samo je potrebno kupovinom odgovarajuće licence, ovu dodatnu opciju aktivirati. Uz korišćenje navedene softverske opcije, merni prijemnik R&S FSMR26 može meriti VOR fazni pomeraj sa rezolucijom $0,001^\circ$ i mernom nesigurnošću koja iznosi $0,03^\circ$, dok se razlika u dubini modulacije (DDM) kod ILS meri u opsegu od 0 do 0,4 sa nesigurnošću $0,0002 \text{ DDM} + 1\%$ od očitane vrednosti [8]. Ova opcija svojom tačnošću je u potpunosti adekvatna za etaloniranje IFR 4000 i nije neophodno vršiti nabavku posebnog, specijalizovanog merila u tu svrhu.

IV. ZAKLJUČAK

U poslednje vreme globalni satelitski navigacioni sistemi – GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) poput GPS-a preuzimaju primat i ubrzano zamenjuju VOR, ILS i druge zemaljske navigacione sisteme. Velika prednost GNSS sistema je manja cena predajnika i činjenica da obezbeđuju podatke o visini i udaljenosti vazduhoplova. Satelitski navigacioni sistemi, kao što su GPS i Galileo, razvijaju tehnologije koje će im obezbediti istu ili čak i veću tačnost u poređenju sa VOR tehnologijom. Niska cena VOR prijemnika, njihova široka

rasprostranjenost i povezanost sa ILS sistemom, će donekle produžiti dominaciju VOR-a u vazduhoplovstvu, bar dok cena satelitskih prijemnika ne postane uporediva sa cenama VOR prijemnika. Postoje i zabrinutosti da su satelitski navigacioni sistemi podložni interferenciji i sabotaži, zbog čega mnoge države održavaju postojeće zemaljske sisteme kao rezervu. GPS sistem obezbeđuje i alternativne načine za navođenje. Tako je u Sjedinjenim Američkim Državama 2007. godine počeo da se primenjuje WAAS (Wide Area Augmentation System) dok u Evropi je 2011. počeo da se koristi EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). U planu je da se ILS sistemi kategorije I (CAT I) zamene satelitskim sistemima, dok sistemi kategorije II i III još uvek ostaju u upotrebi [7].

Ispitivanje zemaljskih navigacionih sistema, poput VOR i ILS, u vazduhoplovima je od izuzetnog značaja jer omogućavaju letelicama da ostanu na pravom kursu uz bezbedan prilaz poletno-sletnoj stazi u uslovima slabije vidljivosti. Zbog svega navedenog, etaloniranje merila kojima se testiraju ovakvi sistemi (odnosno njihovi prijemnici) je ključno kako bi se obezbedilo ispravno funkcionisanje vazduhoplova i sprečile bilo kakve potencijalne nezgode. Metrološka laboratorija ML 02 u sklopu Tehničkog opitnog centra u bliskoj budućnosti planira nabavku odgovarajućeg mernog sredstva, kojim bi proširila svoje merne mogućnosti i time omogućila da se postupak etaloniranja generatora VOR/ILS signala vrši u Republici Srbiji. Time će smanjiti troškovi i povećati funkcionalnost i efikasnost sistema odbrane Republike Srbije.

REFERENCE/LITERATURA

- [1] In depth study of the VOR signals (part 1) | F4GKR (<http://www.f4gkr.org/in-depth-study-of-the-vor-signals/>)
- [2] ICAO "Annex 10 – Aeronautical Telecommunications", Volume I Radio Navigation Aids, Sixth Edition, July 2006.
- [3] ICAO "Manual on testing of Radio Navigation Aids – Volume I – Testing of Ground –based Radio Navigation Systems" (Doc 8071-Vol 1), 5th edition, 2018
- [4] E. Balmus "An Introduction into the Signals of ILS, DME and VOR" (<https://www.skyradar.com/blog/nav aids-a-technical-introduction-into-architecture-and-signals-of-ils-dme-and-vor>). SkyRadar, 16 April 2019
- [5] NAV/COMM Test Set IFR 4000, Operational Manual, Viavi Solutions 2019.
- [6] Rohde & Schwarz, "Aeronautical radio navigation measurement solutions", Application Note
- [7] J. N. Mattis "2017 Federal Radio Navigation Plan" (<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/32801>)
- [8] Rohde & Schwarz, "R&S FS-K15 VOR/ILS Measurement Demodulator for R&S FSMR/FSU/FSQ", Specifications, ver 03.00, November 2013

ABSTRACT

This paper describes the basic principles of operation of the radio navigation systems VOR & ILS. Measuring equipment used for testing VOR & ILS receivers in Technical Test Center is presented. The possibility of calibrating this equipment in calibration laboratory of Technical Test Center is considered.

Measurement of the parameters of the radio navigation systems VOR & ILS

Miša Markuš, Neda Spasojević, Aleksandar Atanacković